

FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Mecânica e
Gestão Industrial

PROGRAMA PRODEP
Medida 4.3
Acção de Formação nº 4

RELATÓRIO FINAL

" Dimensionamento térmico de uma caldeira de recuperação"

por

Hermínio José Rosas da Costa Matos

Porto e FEUP, 30 de Setembro de 1993

4

621(042 3)/LEM 1952/MH-7A
01 10 69



Faculdade de Engenharia

Rua dos Bragas • 4099 PORTO CODEX • PORTUGAL
Telef. (02) 311254 • Telex 27323 FEUP P • Fax 319125

Instalações Laboratoriais e Administrativas

R. do Barroco, 174/214 • 4465 S. Mamede de Infesta • PORTUGAL
Telef. (02) 9537348 (4 Linhas) • Fax (02) 9537352

PARECER

O aluno finalista do Curso de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial **HERMÍNIO JOSÉ ROSAS DA COSTA MATOS**, realizou no INEGI, no âmbito do programa PRODEP, medida 4.3/7/7/92/93, um estágio cujo trabalho se encontra descrito no relatório apresentado com o título "**Dimensionamento térmico de uma caldeira de recuperação**".

Durante a execução do conjunto de tarefas que lhe foram atribuídas, o referido estagiário atingiu os objectivos que lhe foram propostos, mostrando ter conhecimentos adequados.

Face à qualidade do trabalho produzido cumpre-me informar que o estágio realizado se revestiu de grande interesse para esta instituição.

Porto, 27 de Dezembro de 1993

O Supervisor

PARECER

O aluno finalista do Curso de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial **HERMÍNIO JOSÉ ROSAS DA COSTA MATOS**, realizou no INEGI, no âmbito do programa PRODEP, medida 4.3/7/7/92/93, um estágio cujo trabalho se encontra descrito no relatório apresentado com o título **"Dimensionamento térmico de uma caldeira de recuperação"**.

Durante a execução do conjunto de tarefas que lhe foram atribuídas, o referido estagiário atingiu os objectivos que lhe foram propostos, mostrando ter conhecimentos adequados e empenho.

Face à qualidade do trabalho produzido cumpre-me informar que o estágio realizado se revestiu de grande interesse para a formação do aluno como futuro engenheiro.

Porto, 27 de Dezembro de 1993

O Supervisor



PROJECTO DE UMA CALDEIRA GÁS-TUBULAR PARA A
PRODUÇÃO DE VAPOR DE RECUPERAÇÃO DO CALOR DOS
GASES DE ESCAPE DE UM GRUPO DIESEL A FUELÓLEO
PESADO

INDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJECTIVOS	2
3. TIPOS DE CALDEIRAS DISPONIVEIS	3
-CLAYTON-	
1.INTRODUÇÃO	3
2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO	3
3. VANTAGENS E DESVANTAGENS	4
-DELTA-	
1. INTRODUÇÃO	5
2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO	5
3. VANTAGENS E DESVANTAGENS	6
-AALBORG-	
1. INTRODUÇÃO	7
2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO	8
3. VANTAGENS E DESVANTAGENS	9
4. SOLUÇÕES	10
5. CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO TÉRMICO	12
5.1 DADOS	12
5.2 CÁLCULO DA MASSA DE GASES DE ESCAPE	12
5.3 CÁLCULO DE DELTA T_m	14
5.4 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CONVECÇÃO	15
5.5 CÁLCULO DO NUMERO DE TUBOS	16
5.6 SEQUENCIA DE CALCULO.	
CÁLCULO DO L_{tubo}	17
5.7 MASSA DE VAPOR PRODUZIDA EM FUNÇÃO DE L_{tubo}	20
5.8 DIMENSÕES ESCOLHIDAS	22

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de conservação de energia são nos nossos dias uma preocupação para a industria, o que obriga a olhar a utilização de energia de uma maneira mais economica e racional.

Uma consideravel quantia de energia térmica dos gases de escape é perdida a partir dos motores diesel, turbinas de gas e instalações de processos industriais.

Com as casuais faltas de combustivel e o aumento dos preços, a utilização eficiente da energia é uma necessidade economica. É por esta razão, de vital importancia, necessario utilizar o combustivel na máxima eficiencia, convertendo esta preciosa energia livre, perdida para a atmosfera, em energia util.

Os sistemas de recuperação de energia proporcionam à industria utilizar esta energia perdida em processos de geração de calor, ou transformando-a numa outra forma de energia que a industria necessite, sem incorrer em custos adicionais de combustivel.

A substancial redução nos custos do funcionamento industrial, realizados através deste aumento de eficiencia de energia é um incentivo financeiro valioso, favorecendo o investimento nas instalações de recuperação de calor perdido.

2. OBJECTIVOS

Pretende-se elaborar com este trabalho um projecto térmico e mecânico de uma caldeira para ser integrada numa central térmica industrial, com ajustamento do caudal de vapor às necessidades do processo, com consumos interrompidos durante os periodos de fim de semana, enquanto o grupo diesel é mantido em funcionamento.

Deverá maximizar-se o caudal de vapor com vista à obtenção da máxima eficiencia do ciclo. Deverão ser optimizados os aspectos construtivos, devendo ser considerada a possibilidade de aumento da vaporização sempre que os problemas de corrosão a baixa temperatura, sejam reduzidos pela utilização de combustiveis de baixo teor de enxofre.

3. TIPOS DE CALDEIRAS DISPONIVEIS

-CLAYTON-

1. INTRODUÇÃO

A "Clayton" dispõe de caldeiras de recuperação e equipamento auxiliares standart capazes de aproveitar o calor dos gases, situados dentro de uma gama de temperatura entre 200° c e 1800° c.

Como critério geral adopta-se a utilização de caldeiras de recuperação tipo modulares de secções acopláveis entre si .

O desenho avançado e a elevada tecnologia das caldeiras de recuperação "clayton", são factores imprescindíveis para utilizações onde se precise produzir vapor saturado, água quente ou água sobreaquecida.

2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO

As caldeiras de recuperação "clayton" para trabalhar à convecção, estão desenhadas , como se vê na figura 1, segundo o principio do fluxo cruzado a contracorrente, a fim de obter um melhor aproveitamento energetico.

Em aplicações onde a temperatura dos gases é importante, podem acoplar-se diferentes tipos de modulos, de maneira que a secção de passagem de fumos varie à medida que estes arrefeçam, ver figura 2. Mantendo assim constante a sua velocidade e conseguindo um melhor coeficiente de transmissão térmica.

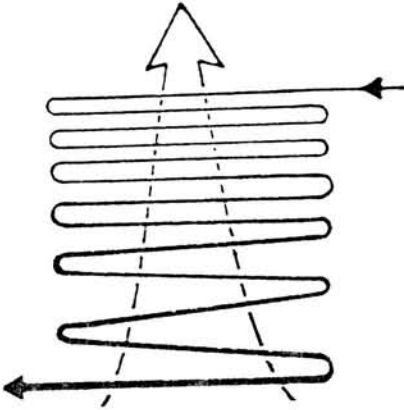


figura 1

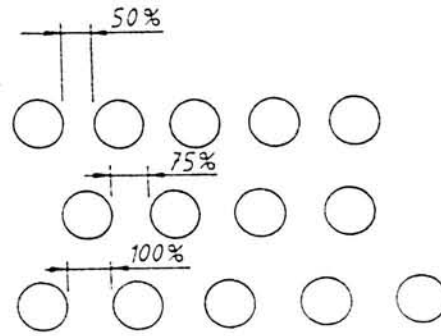


figura 2

3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

A caldeira de recuperação tipo modular "clayton", permite efectuar infinitudes de configurações, formadas por elementos iguais ou diferentes, podendo trabalhar em serie, paralelo ou serie-paralelo. O seu especial desenho confere-lhes uma elevada fiabilidade, simplicidade de operação, e facilidade de manutenção, de maneira que em caso de avaria de um modulo pode-se continuar a trabalhar, enquanto o modulo é substituido ou reparado, sem por isso ser necessario parar o funcionamento.

Geralmente cada modulo é diferente nas suas características, tais como, superficie de intercambio, secção de passagem de fumos, diametro da serpentina, etc, o que permite uma selecção cuidadosa, podendo formar-se a caldeira de recuperação mais adequada a cada aplicação .l

Dada a sua genial estrutura compacta, resultam equipamentos de reduzidas dimensões, com um peso total muito pequeno em comparação com as caldeiras de tubos de fumo.

Este tipo de caldeiras tem o inconveniente da limpeza ser dificil de efectuar, devido à sua grande compacidade.

O problema da circulação forçada é outro inconveniente, porque em consequencia vemo-nos obrigados a utilizar uma bomba, a qual tem uma manutenção e um consumo de energia.

-DELTA-

1. INTRODUÇÃO

As caldeiras de recuperação de calor "delta" com a sua forma construtiva normalizada e modular, são aplicaveis praticamente em todas as areas de recuperação de calor de gases de escape, sem ocasionar gastos adicionais de projecto.

A forma construtiva "delta" unica no seu genero, permite obter diferentes disposições de entrada e saida de gases.

2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO

O desenho da caldeira "delta" é do tipo acutubular de circulação natural.

As alhetas de forma radial dentada, soldadas mediante processos de indução por alta frequência, proporcionam maior eficiencia de transferencia de calor e uma maior vida do que os tubos convencionais com alhetas lisas.

A dupla passagem dos gases, conduzidos por uma divisoria e a ampliada superficie de transferencia de calor, tomaram possivel uma execução muito compacta .

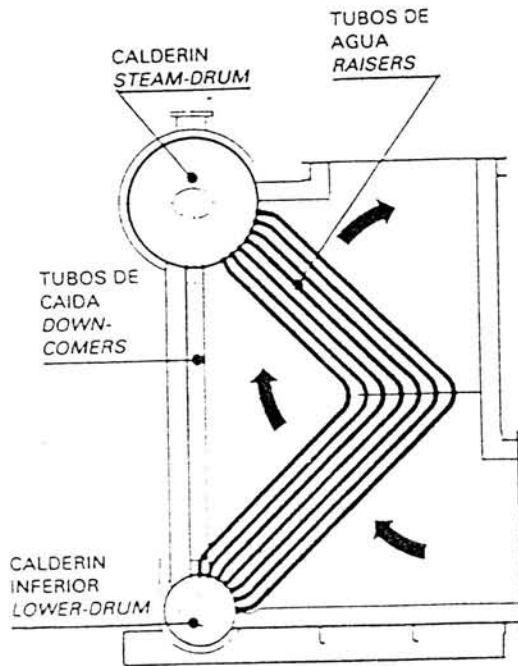


figura 3

A caldeira de recuperação acotubular "Delta" é amplamente reconhecida e aplicada como um equipamento industrial standard para pequenas e médias turbinas de gás.

3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

A caldeira de recuperação "delta" tem várias características, tais como, circulação natural, caudal de gases até 400 ton/h, temperatura dos gases até 1000°C, pressão do vapor gerado até 100 bar, dispõe também de várias opções de entrada e saída de gases e vapor respectivamente, como se observa na figura 4.

Esta caldeira é bem conseguida no que respeita ao atravancamento, pois ela é bastante compacta, isto consegue-se devido aos gases passarem duas vezes pelos tubos, e a terem uma ampla superfície de transferência de calor. Superfície esta conseguida devido ao uso de alhetas de forma radial dentada, o que proporciona uma melhor eficiência na transferência de calor.

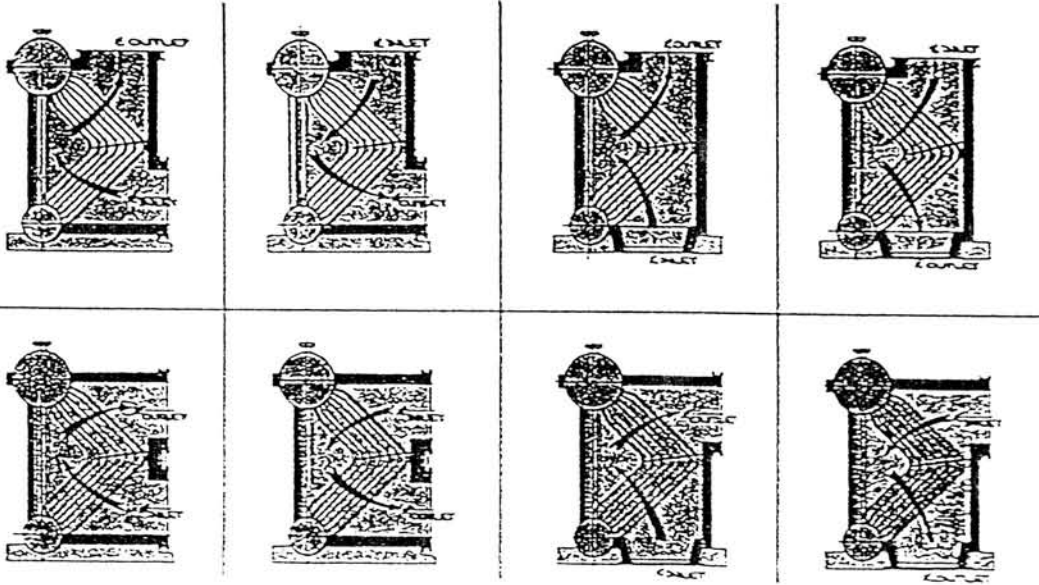


figura 4

-AALBORG-

1. INTRODUÇÃO

As caldeiras de recuperação de calor "aalborg", envolvidas no campo da conservação de energia desde finais de 1930, projectaram e construíram sistemas de recuperação de calor, integrados com sucesso num largo espectro industrial.

A longa experiência, que vai desde a instalação de uma turbina de gás de recuperação de 3Mw até uma complexa instalação de recuperação de calor de 25Mw, operando com um grupo diesel, tem contribuído para o recente desenvolvimento dentro deste campo.

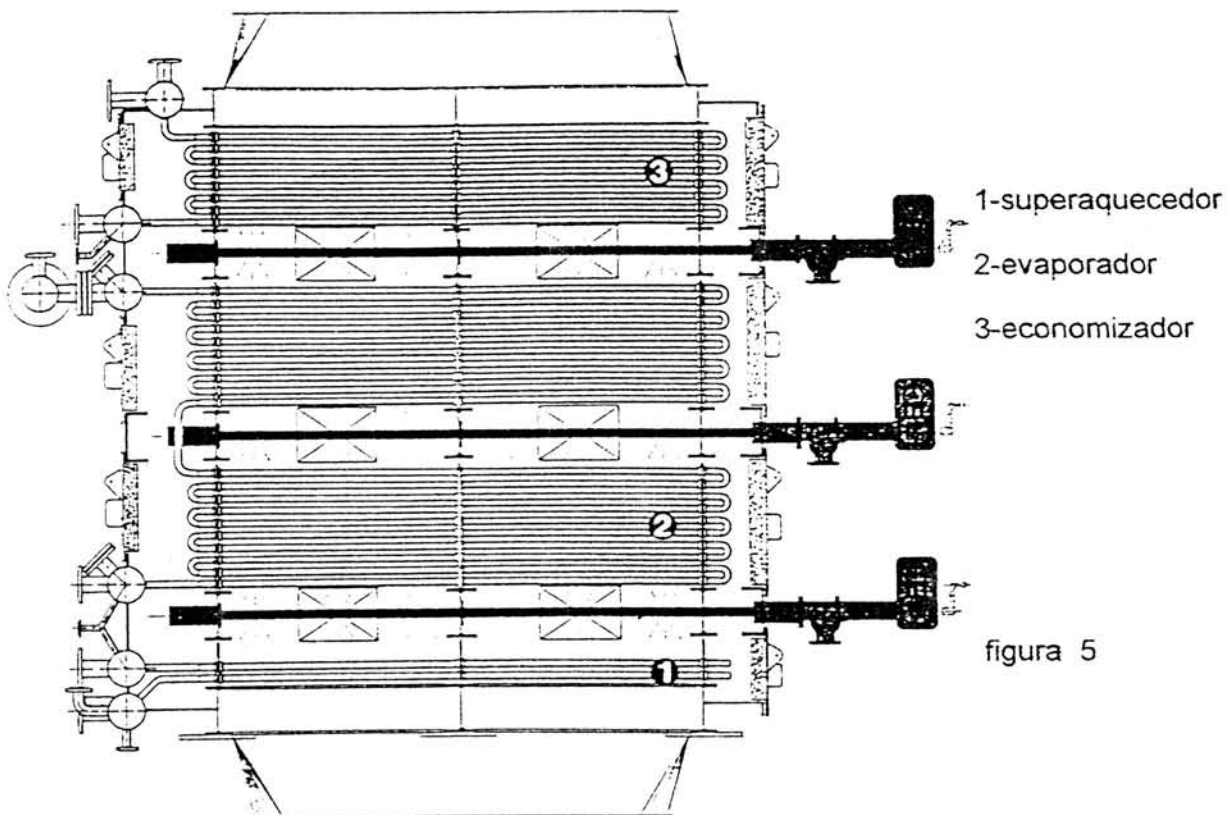
2. SISTEMA DE FUNCIONAMENTO

A "AV-6" é a caldeira de recuperação de calor mais utilizada. É especialmente projectada para recuperação de calor proveniente dos gases de escape de um grupo diesel, mas com possibilidade de adaptação do projecto base a inumeras aplicações.

Estas caldeiras tem uma extensa superficie de transferencia de calor, devido a esses mesmos tubos serem alhetados.

A caldeira de recuperação de calor, assegura com um economizador e/ou um superaquecedor, conforme as necessidades dos clientes, um alto grau de eficiencia térmica.

Dependendo das necessidades de vapor dos clientes, as caldeiras podem ser equipadas com um sistema suplementar de alimentação.



3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

As principais características das caldeiras "AALBORG" são :

- Despesa de capital competitiva ;
- Alta eficiência térmica (tubos alhetados, aumento da transferência de calor);
- Excelente flexibilidade operacional;
- Alta automatização, necessidades operacionais mínimas;
- Bastante compacta, devido à elevada área de transferência de calor;
- Ligeira dificuldade de limpeza entre as alhetas, devido à grande compactidade

4. SOLUÇÕES

Como já foi referido nos objectivos deste trabalho, a utilização de vapor pode não ser permanente, portanto, pretende-se fazer um ajustamento da produção de vapor às necessidades. Para solucionar o problema podemos apresentar várias hipóteses, tais como:

- Armazenar calor sob a forma de água quente
- Reduzir a transferência de calor
- Variar a pressão com o fim de reduzir a vaporização
- Condensar vapor em excesso, perde-se o calor mas não se perde a água.

Convém também salientar que é sempre necessário produzir algum calor para aquecer o fuelóleo, visto o grupo diesel trabalhar permanentemente (24 horas por dia, 7 dias por semana).

O processo mais apropriado e mais simples para solucionar o problema da variação de consumo de vapor é a utilização de uma caldeira de tubos de fumo, em que se possa variar o nível da água, consoante as necessidades de vapor, o que não se conseguia obter com os outros tipos de caldeiras expostas anteriormente.

Neste tipo de caldeira, de circulação natural, os gases de escape circulam dentro dos tubos, com o inconveniente de se obter uma fraca transferência de calor, devido à fraca turbulência dentro dos tubos.

Este problema é fácil de solucionar, introduzindo dentro dos tubos uma mola, o que vai originar a turbulência dos gases além de aumentar a área de transferência de calor. Também se pode introduzir uma grelha perpendicular ao sentido de escoamento para aumentar a turbulência da água.

Estas medidas conseguem resolver o problema da fraca transferência de calor. Convém não esquecer o problema das tensões existentes na junção da placa superior, devidas a dilatações térmicas.

Todos estes problemas vão ser tidos em consideração no dimensionamento da caldeira.

5. CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO TÉRMICO

5.1. DADOS

Rendimento motor=42%

Excesso de ar =13% O

Potência do motor =4,2 Mw

PCI =40780 Kj /Kg

Temp. ent. gases =450°C

Temp. sai. gases =200°C

Água alimentação:

-Temp.=95°C (pré-aquecida)

-Pressão =10 bar

d=3/4"=0.0191m

d=1"=0.0255m

d=2"=0.051m

5.2 CÁLCULO DA MASSA DE GASES DE ESCAPE

$$\dot{m} = 4.2 \cdot 10^3 / (\dot{m}_c \cdot pci) \quad \dot{m}_c = 0,245 \text{ kg /s}$$

$$\dot{m}_{g/kgc} = (4 \cdot CO_2 + O_2 + 700) / (3 \cdot (CO_2 + CO))$$

$$C_1 = (mf \cdot cf - mr \cdot cr) / (mf \cdot 100) = 0,885 \quad ; \text{com } cr = 0$$

$$; \text{com } cf = 100 - 11.5 = 88.5$$

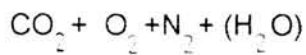
$$\%CO=0$$

$$\%O_2=13\%$$

$$\%CO_2=6\%$$

$$\dot{m}_g/\dot{m}_c=(4*6+13+700)/(3*6)*0.885=36.23 \text{ kg g.s./kg comb.}$$

BASE SECA



$$\dot{m}_a * (\%H) = \dot{m}_h$$

$$\dot{m}_h/\dot{m}_{\text{agua}}=2/18$$

$$\dot{m}_{\text{agua}}=18/2 * \dot{m}_h$$

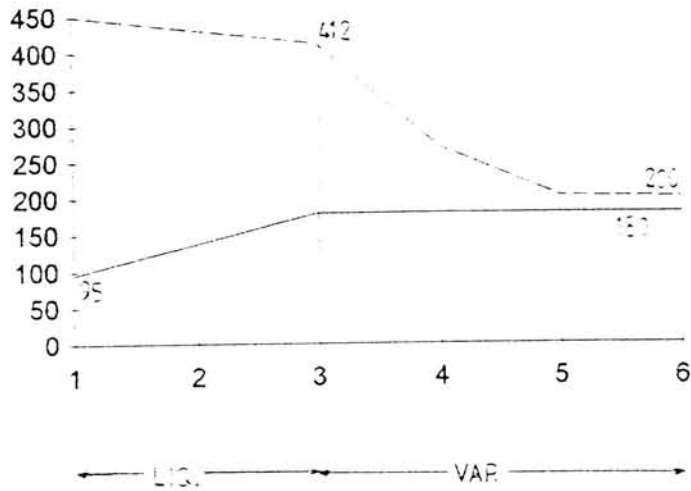
$$(\dot{m}_{\text{agua}})_p=18/2 * 0.115=1.035 \text{ kg agua/kg comb.}$$

$$\dot{m}_g/\dot{m}_{\text{comb.}} + \dot{m}_{\text{agua}}/\dot{m}_{\text{comb.}} = \dot{m}_{\text{prod.}}/\dot{m}_{\text{comb.}}$$

$$36.23 + 1.035 = \dot{m}_{\text{prod.}}/0.245$$

$$\dot{m}_{\text{prod.}}=9.129 \text{ kg/s (massa de gases de escape)}$$

5.3 CÁLCULO DE DELTA Tm



Temp. sat.(10 bar)=180°C

$q_{lv}=2015.107 \text{ kJ/kg (180°C)}$

$C_p \text{ gas.}=1.0551 \text{ kJ/kg/°C}$

$C_p \text{ liq.}=4.271 \text{ kJ/kg/°C}$

$$\dot{m}_g \cdot C_p \text{ gas.} \cdot (450-200) = \dot{m}_{\text{agua}} \cdot (C_{p\text{liq.}} \cdot (180-95) + q_{lv.})$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 1.013 \text{ kg/s (massa de vapor produzido)}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} \cdot C_{p\text{liq.}} \cdot (180-95) = \dot{m}_g \cdot C_{p\text{gas.}} \cdot (450-T_x)$$

$$T_x = 412^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{m \text{ liq.}} = ((450-95)-(412-180)) / \ln ((450-95)/(412-180)) = 289,2^\circ\text{c}$$

$$\Delta T_{m \text{ vap.}} = ((412-180)-(200-180)) / \ln ((412-180)/(200-180)) = 86,5^\circ\text{c}$$

$$\dot{Q}_{\text{tot}} = \dot{m}_{\text{g}} \cdot C_{p \text{ gas.}} \cdot (450-200)$$

$$\dot{Q}_{\text{liq.}} = \dot{m}_{\text{agua}} \cdot C_{p \text{ liq.}} \cdot (180-95)$$

$$\dot{Q}_{\text{vap.}} = \dot{m}_{\text{agua}} \cdot q_{\text{lv}}$$

$$\dot{Q}_{\text{tot.}} / \Delta T_{m \text{ tot.}} = \dot{Q}_{\text{liq.}} / \Delta T_{m \text{ liq.}} + \dot{Q}_{\text{vap.}} / \Delta T_{m \text{ vap.}}$$

$$\Delta T_{m \text{ tot.}} = 96,85^\circ\text{c}$$

5.4 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CONVECÇÃO

$$1/k = 1/\alpha_{\text{conv. int.}} + 1/\alpha_{\text{ebul.}} + R_{\text{cond.}}$$

(tanto a parcela relativa à convecção exterior, como a resistência de condução, a sua contribuição é praticamente nula)

$$1/k = 1/\alpha_{\text{conv. int.}}$$

$$K = \alpha_{\text{conv. int.}}$$

$$T_{\text{medio}} = (450+200)/2 = 325$$

$$T_{\text{medio}} = 325 + 273 = 598\text{k}$$

Pressão atmosférica

$$\rho = 0.5879 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 1.0551 \text{ KJ/Kg/}^\circ\text{C} \quad (\text{gases})$$

$$\mu = 3.018 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/m/s}$$

$$k = 0.04659 \text{ w/m/}^\circ\text{C}$$

$$Pr = 0.680$$

$$Re_d = (\rho \cdot U \cdot d) / \mu$$

$$Nu_d = 0.023 \cdot Re_d^{0.8} \cdot Pr^{0.3}$$

$$\alpha = k \cdot Nu_d / d$$

(cálculos efectuados na sequência de cálculo)

5.5 CÁLCULO DO NÚMERO DE TUBOS

Espaçamentos entre eixos: $1.3 \cdot d$ tubo

Número de tubos:

$$N_t = (\pi \cdot D_c^2) / 4 / (1.3 \cdot d)^2$$

(cálculos efectuados na folha de cálculo, N_t é dependente da variação de D_c e d .)

5.6 SEQUÊNCIA DE CÁLCULO.

CÁLCULO DO Ltubo .

		Dc=1 d=0.051	Dc=1.5 d=0.051	Dc=2 d=0.051	Dc=2.5 d=0.051
Tg ent.	°C	450	450	450	450
Tg sai.	°C	200	200	200	200
Delta Tg	°C	250	250	250	250
m gases	Kg/s	9,129	9,129	9,129	9,129
Cp gases	J/kg/°c	1055,1	1055,1	1055,1	1055,1
Q=mCpDeltaT	w	2408001.975	2408001.975	2408001.975	2408001.975
Dcarcaça	m	1	1,5	2	2,5
d tubo int.	m	0,051	0,051	0,051	0,051
Nt=PI*D^2/(6.76*d^2)		178,5840221	401,8140497	714.3360883	1116,150138
Num. tubos		179	402	715	1117
m gases/Nt	kg/s	0,051	0,022708955	0,012767832	0,008172784
T gases	k	600	600	600	600
Ro	kg/m^3	0,5879	0,5879	0,5879	0,5879
Pr		0,68	0,68	0,68	0,68
Niu	kg/m/s	3,02E-05	3,02E-05	3,02E-05	3,02E-05
k	w/m/°c	0,04659	0,04659	0,04659	0,04659
Cp	kJ/kg/°c	1055,1	1055,1	1055,1	1055,1
A tubo=PI*d^2/4	m^2	0.002041785	0.002041785	0.002041785	0.002041785
V=m tubo/(Ro*A tubo)	m/s	42,48706264	18,91836869	10,63662128	6,808580315
Re=(Ro*V*d)/Niu		42209,58749	18794,81632	10567,15547	6764,114736
Nud=0.023*Re^0.8*Pr^0.3		102,756522	53,79116849	33,93493232	23,74921627
Alfa=k*Nud/d	w/m^2/°c	93,87110506	49,1398145	31,00055876	21,69560757
Delta Tm	°c	96,85	96,85	96,85	96,85
Atrans.=Q/(K*Delta Tm) ; m^2		264.8654331	505,9687576	802,0246048	1146,002057
Ltubos=Atrans./(PI*d*Nt) ; m		9,240009722	7,85955258	7,004575584	6,406670666
m vapor	kg/h	3646,8	3646,8	3646,8	3646,8
Ltubos/D		9,240009722	5,23970172	3,502287792	2,562668266

		Dc=2	Dc=1.5
		d=0.0255	d=0.0255
Tg ent.	°C	450	450
Tg sai.	°C	200	200
Delta Tg	°C	250	250
m gases	Kg/s	9,129	9,129
Cp gases	J/kg/°c	1055,1	1055,1
Q=mCpDeltaT	w	2408001,975	2408001,975
Dcaraca	m	2	1,5
d tubo int.	m	0,0255	0,0255
Nt=PI*D^2/(6,76*d^2)		2857,344353	1607,256199
Num. tubos		2858	1608
m gases/Nt	kg/s	0,003194192	0,005677239
T gases	k	600	600
Ro	kg/m^3	0,5879	0,5879
Pr		0,68	0,68
Niu	kg/m/s	3,02E-05	3,02E-05
k	w/m/°c	0,04659	0,04659
Cp	kJ/kg/°c	1055,1	1055,1
A tubo=PI*d^2/4	m^2	0,000510446	0,000510446
V=m tubo/(Ro*A tubo)	m/s	10,64406468	18,91836869
Re=(Ro*V*d)/Niu		5287,275129	9397,408159
Nud=0.023*Re^0.8*Pr^0.3		19,50141111	30,89491338
Alfa=k*Nud/d	w/m^2/°c	35,63022524	56,44682409
Delta Tm	°c	96,85	96,85
Atrans.=Q/(K*Delta Tm) ; m^2		697,8123411	440,4713869
Ltubos=Atrans./(PI*d*Nt) ; m		3,049345211	3,421068963
m vapor	kg/h	3646,8	3646,8
Ltubos/D		1,524672606	2,280712642

		Dc=1	Dc=1.5
		d=0.0191	d=0.0191
Tg ent.	°C	450	450
Tg sai.	°C	200	200
Delta Tg	°C	250	250
m gases	Kg/s	9.129	9.129
Cp gases	J/kg/°c	1055,1	1055,1
Q=mCpDeltaT	w	2408001,975	2408001,975
Dcarcaça	m	1	1,5
d tubo int.	m	0,0191	0,0191
Nt=PI*D^2/(6.76*d^2)		1273,257426	2864,829208
Num. tubos		1274	2865
m gases/Nt	kg/s	0,00716562	0,003186387
T gases	k	600	600
Ro	kg/m^3	0,5879	0,5879
Pr		0,68	0,68
Niu	kg/m/s	3,02E-05	3,02E-05
k	w/m/°c	0,04659	0,04659
Cp	kJ/kg/°c	1055,1	1055,1
A tubo=PI*d^2/4	m^2	0,000286376	0,000286376
V=m tubo/(Ro*A tubo)	m/s	42,56120621	18,92599536
Re=(Ro*V*d)/Niu		15835,49048	7041,680585
Nud=0.023*Re^0.8*Pr^0.3		46,90139125	24,52570877
Alfa=k*Nud/d	w/m^2/°c	114,4050167	59,82475243
Delta Tm	°c	96,85	96,85
Atrans.=Q/(K*Delta Tm) ; m^2		217,3262294	415,6007318
Ltubos=Atrans./(PI*d*Nt) ; m		2,844328164	2,418737077
m vapor	kg/h	3646,8	3646,8
Ltubos/D		2,844328164	1,612491385

5.7 MASSA DE VAPOR PRODUZIDA EM FUNÇÃO DE Ltubo

		Dc=1 d=.051									
Ltubo	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9,24
Area	m ²	28,665	57,33	85,995	114,66	143,33	171,99	200,66	229,32	257,99	264,87
m.vap.	kg/h/m ²	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769	13,769
m.vap.	kg/h	394,68	789,35	1184	1578,7	1973,4	2368,1	2762,7	3157,4	3552,1	3646,8

		Dc=1.5 d=.051							
Ltubo	m	1	2	3	4	5	6	7	7,86
Area	m ²	64,376	128,75	193,13	257,51	321,88	386,26	450,63	506
m.vap.	kg/h/m ²	7,2071	7,2071	7,2071	7,2071	7,2071	7,2071	7,2071	7,2071
m.vap.	kg/h	463,97	927,93	1391,9	1855,9	2319,8	2783,8	3247,8	3646,8

		Dc=2 d=.051						
Ltubo	m	1	2	3	4	5	6	7
Area	m ²	114,5	229	343,5	458	572,5	687	801,5
m.vap.	kg/h/m ²	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55
m.vap.	kg/h	520,97	1041,9	1562,9	2083,9	2604,9	3125,8	3646,8

		Dc=2.5 d=.051						
Ltubo	m	1	2	3	4	5	6	6,4
Area	m ²	178,88	357,75	536,63	715,51	894,38	1073,3	1144,8
m.vap.	kg/h/m ²	3,1855	3,1855	3,1855	3,1855	3,1855	3,1855	3,1855
m.vap.	kg/h	569,82	1139,6	1709,5	2279,3	2849,1	3418,9	3646,8

		Dc=1.5 d=.0255			
L tubo	m	1	2	3	3,42
Area	m ²	128,75	257,51	386,26	440,33
m.vap.	kg/h/m ²	8,282	8,282	8,282	8,282
m.vap.	kg/h	1066,3	2132,6	3199	3646,8

		Dc=2 d=.0255			
L tubo	m	1	2	3	3,05
Area	m ²	228,84	457,68	686,52	697,96
m.vap.	kg/h/m ²	5,2249	5,2249	5,2249	5,2249
m.vap.	kg/h	1195,7	2391,4	3587	3646,8

		Dc=1 d=.0191		
L tubo	m	1	2	2,84
Area	m ²	76,407	152,81	217
m.vap.	kg/h/m ²	16,806	16,806	16,806
m.vap.	kg/h	1284,1	2568,1	3646,7

		Dc=1.5 d=.0191		
L tubo	m	1	2	2,42
Area	m ²	171,83	343,65	415,82
m.vap.	kg/h/m ²	8,7701	8,7701	8,7701
m.vap.	kg/h	1506,9	3013,9	3646,8

5.8 DIMENSÕES ESCOLHIDAS

São estes os arranjos de valores mais corretos, tendo em atenção que normalmente L/D_c varia entre 2 e 3,5.

Dc=2	(m)	d=0,051	(m)	Lmáx=7	(m)	L/Dc=3,5
Dc=2.5	(m)	d=0,051	(m)	Lmáx=6,4	(m)	L/Dc=2.56
Dc=1.5	(m)	d=0,0255	(m)	Lmáx=3.42	(m)	L/Dc=2.28
Dc=1	(m)	d=0,0191	(m)	Lmáx=2,84	(m)	L/Dc=2,84



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000101517